

## HETEROSIS DE CRUZAS ENTRE LINEAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) NATIVO MEXICANO TIPO PIMIENTO Y LINEAS TIPO SALADETTE

### HETEROSIS IN CROSSES AMONG BELL PEPPER-SHAPED MEXICAN NATIVE TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) LINES AND SALADETTE TYPE LINES

Esaú de-los-Ángeles Martínez-Vázquez<sup>1</sup>, Ricardo Lobato-Ortiz<sup>1\*</sup>,  
J. Jesús García-Zavala<sup>1</sup> y Delfino Reyes-López<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Agrohidráulica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla.

\*Autor para correspondencia (rllobato@colpos.mx)

#### RESUMEN

En México el tomate o jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas de mayor importancia por su superficie cultivada, por las divisas y el número de empleos que genera, y por su valor alimenticio y cultural. Sin embargo, el material nativo mexicano "criollo" se ha estudiado poco en cuanto a su rendimiento, calidad, resistencia a factores bióticos y abióticos, y en su potencial como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento genético. En este trabajo se evaluó el comportamiento heterótico de 40 cruzas formadas entre 10 líneas S5 derivadas de colectas de jitomate nativo mexicano tipo pimiento, localmente llamado "chino criollo", y cuatro líneas S5 derivadas de híbridos comerciales de jitomate tipo "saladette". El experimento se estableció en condiciones de invernadero e hidroponía, en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones y cinco plantas por repetición. Las variables que se registraron fueron peso total de fruto (PTF), peso promedio de fruto (PPF), número total de frutos (NTF), firmeza del fruto (FF), número de flores del tercer racimo (NFR3), número de racimos por planta (NRP) y días a floración del primer racimo (DF1). Hubo diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos, cruzas, líneas y grupos de materiales para la mayoría de las variables. La cruz de mayor rendimiento fue LOR111R, con 3624 g/planta, seguida del testigo El Cid con 34529 g/planta. En las variables PMF, NTF y NRP las cruzas al menos igualaron y en algunos casos superaron al híbrido testigo. Se obtuvieron valores positivos de heterosis media para la mayoría de las variables, excepto en días a floración. En el rendimiento de fruto la heterosis media varió de -21.8 a 111.2 %, mientras que para PPF fue de -13 a 80.7 %. Los resultados del comportamiento *per se* de las líneas y de sus cruzamientos indican una amplia divergencia genética, la cual se reflejó en altos rendimiento y alta heterosis media que se pueden aprovechar en programas de mejoramiento genético de jitomate.

Palabras claves: *Solanum lycopersicum*, tomate nativo mexicano, heterosis.

#### SUMMARY

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most important vegetables cultivated in México due to its cultivated surface, its commodity status, the number of jobs required for production, and its nutritional and cultural value. However, little is known about the native Mexican landraces in terms of yield performance, fruit quality, resistance to biotic and abiotic factors, and their potential as a source of germplasm for plant breeding programs. In this work, heterotic performance of 40 crosses formed among 10 S5 lines derived from Mexican native tomato pepper type accessions, locally called "Chino Criollo", and four S5 lines originated from commercial hybrids of "saladette" type was

evaluated. The experiment was carried out under greenhouse and hydroponics conditions, in a randomized complete block design with three replications and five plants per replication. Traits evaluated were total weight of fruit (PTF), average fruit weight (PPF), total number of fruits (NTF), fruit firmness (FF), number of flowers in the third cluster (NFR3), number of clusters per plant (NRP), and days to flowering in the first cluster (DF1). There were significant differences ( $P \leq 0.01$ ) between genotypes, crosses, lines and groups of genetic materials for most variables. The cross with the highest yield was LOR111R with 3624 g plant<sup>-1</sup>, followed by the control variety El Cid, with 3452 g plant<sup>-1</sup>. For traits PPF, NTF and NRP, there were some crosses that at least equaled and in some cases exceeded the values of the hybrid control variety. Positive values for mean heterosis were obtained in most variables, except for days to flowering. For fruit yield the mean heterosis ranged from -21.8. to 111.2 %, whereas for PPF it was -13 to 80.7 %. Results for the *per se* performance of the lines and their crosses show great genetic divergence among native genetic materials, which was reflected in high yields and high mean heterosis that can be exploited in tomato breeding programs.

Index words: *Solanum lycopersicum*, Mexican native tomatoes, heterosis.

#### INTRODUCCIÓN

En México el tomate o jitomate cultivado (*Solanum lycopersicum* L.) ocupa el segundo lugar en importancia entre las hortalizas, con 2.7 millones de toneladas producidas anualmente (SIAP, 2013). En las últimas décadas los híbridos de jitomate han destacado por su mayor rendimiento, resistencia a enfermedades, calidad de fruto y vida de anaque (Grandillo *et al.*, 1999). Sin embargo, las variedades comerciales que se cultivan en este país, en condiciones de invernadero y a cielo abierto, son híbridos con reducida base genética producidos por empresas transnacionales (Hernández-Leal *et al.*, 2013).

Los jitomates silvestres, o con algún grado de domesticación, que se cultivan como "materiales criollos" se encuentran en todo el país (Chávez-Servia *et al.*, 2011; Lobato-Ortiz *et al.*, 2012; Sánchez-Peña *et al.*, 2006), tanto en zonas de vegetación natural como en campos de

cultivo, donde eventualmente pueden convertirse en malezas (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014; Sánchez-Peña *et al.*, 2006). La amplia distribución de este tipo de jitomate ha permitido desarrollar poblaciones con diversos grados de adaptación a factores abióticos extremos y con resistencia a plagas y enfermedades, lo que ha incrementado la variabilidad biológica de la especie (Ramanatha y Hodking, 2002). En consecuencia, se requiere estudiar el material nativo mexicano *per se* y en combinaciones híbridas, para generar germoplasma útil a los programas nacionales de mejoramiento genético, con mejor adaptación y que permita la eventual obtención de líneas, variedades sintéticas e híbridos.

Existen estudios relacionados con la caracterización *per se* de poblaciones nativas de jitomate mexicano (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014; Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia, 2010; Crisanto-Juárez *et al.*, 2010; Estrada-Trejo *et al.*, 2014), aunque pocos se han enfocado al estudio de combinaciones híbridas y al subsecuente análisis de la heterosis (Hernández-Bautista *et al.*, 2014) de variables relacionadas con la calidad, rendimiento y características agromorfológicas de ese germoplasma (Crisanto-Juárez *et al.*, 2010).

Con base en lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el comportamiento agronómico de híbridos de jitomate obtenidos de cruzamientos entre líneas derivadas de jitomate nativo mexicano tipo pimiento y líneas derivadas de híbridos comerciales tipo "saladette", para identificar germoplasma con alto potencial de rendimiento y buena heterosis.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Se generaron 40 híbridos mediante el cruzamiento de diez líneas S5 de jitomate nativo denominado localmente "chino criollo, tipo pimiento o cuadrado", el cual es de importancia económica regional en los estados de Puebla y Oaxaca (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014), con cuatro líneas avanzadas también S5 de tipo "saladette" (L, C, R, T) derivadas de híbridos comerciales. Las 10 primeras líneas provenían de diferentes colectas de la región de Tehuacán, Puebla y Oaxaca. En la partición de los genotipos en grupos de materiales del análisis de varianza, las cuatro líneas tipo "saladette" se consideraron como probadores y cada una de ellas se cruzó con las 10 primeras líneas. En la evaluación se incluyeron esas 10 líneas (hembras), las cuatro líneas avanzadas (machos), y un híbrido comercial tipo "saladette" como testigo (El Cid). Las líneas nativas se identificaron como LOR-79, LOR-81, LOR-82, LOR-84, LOR-85, LOR-91, LOR-95, LOR-97, LOR-103 y LOR-111 (Figura 1), mientras que las cruzas se denominaron con el nombre de

la línea seguida por la inicial L, C, R o T, según el probador empleado.

### Diseño experimental y manejo agronómico

Los 55 genotipos resultantes se evaluaron en condiciones de invernadero e hidroponía en el ciclo Primavera-Verano 2014, en Montecillo, Texcoco, Estado de México ( $19^{\circ} 30' N$ ,  $98^{\circ} 53' O$  y 2250 m de altitud). Se usó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y 5 plantas por repetición. La siembra se realizó el 19 de diciembre de 2013 y el trasplante el 30 de enero de 2014. El trasplante se hizo en bolsas de polietileno de color negro de 12 L (40 x 40 cm), llenadas con tezontle rojo fino como sustrato, con una distancia entre filas de bolsas de 1 m y entre plantas de 0.4 m (25,000 plantas  $ha^{-1}$ ). Las plantas se manejaron a un solo tallo y se sujetaron con hilo de rafia. Se aplicaron cuatro riegos al día con la solución nutritiva de Steiner (1984); el pH de la solución se ajustó entre 5.5 a 6.0. La cosecha fue manual, planta por planta, en dos cortes a los 120 y 144 d después del trasplante.

### Variables registradas

En cada planta se tomaron datos del rendimiento de fruto (peso total de frutos por planta en g, PTF) y número total de frutos (NTF) con base en la suma de los dos cortes; número de flores del tercer racimo (NFR3); número de racimos (NRP) a los 90 d, y días a floración del primer racimo (DF1) cuando las plantas presentaron la antesis de la primera flor. Además, en una muestra representativa de cinco frutos por planta, típicos del fenotipo y bien polinizados (usualmente del tercer racimo), se registró el peso promedio de fruto (g, PPF) y la firmeza del fruto (en newtons -N-, FF), medida con un texturómetro universal marca FOR-CEFIVE® modelo FDV-30 (USA) con puntal cónico de 0.8 mm. Estas dos últimas variables se midieron únicamente en frutos del primer corte.

### Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y correlaciones; la comparación de medias fue mediante Tukey ( $P \leq 0.05$ ); para estos análisis se empleó el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002). El análisis de varianza se realizó con los 55 genotipos, los cuales se partieron en 40 cruzas, 10 líneas S5 nativas, cuatro líneas "saladette" S5 (probadores), y cuatro grupos de materiales genéticos conformados por las cruzas, las líneas nativas, los probadores, y el testigo El Cid.

El cálculo de la heterosis media porcentual ( $Hm$ ) se estimó con respecto al promedio de los progenitores mediante la fórmula:



Figura 1. Frutos de 10 líneas (LOR) de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) derivadas de poblaciones nativas empleadas en este estudio, en comparación con frutos del híbrido comercial El Cid.

$$Hm = \frac{F_1 - PM}{PM} \times 100$$

donde:  $F_1$  = media fenotípica de la población  $F_1$ ;  $PM = (P_i + P_j)/2$  = media fenotípica del promedio de los progenitores  $i$  y  $j$ .

Para el cálculo de la heterosis superior ( $Hs$ ) se usó la misma fórmula, pero el valor de  $PM$  se sustituyó por el valor del mejor progenitor.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de varianza

Se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos en todas las variables medidas (Cuadro 1). La partición en cruzas, líneas y grupos de genotipos detectó significancia entre cruzas y entre líneas para todas las variables; entre probadores no hubo diferencias para rendimiento, firmeza de fruto, número de racimos por planta y días a floración del primer racimo, mientras que entre los grupos de materiales genéticos (cruzadas, líneas, probadores y el testigo) hubo significancia para todas las variables, excepto para firmeza del fruto y número de flores del tercer racimo.

Estos resultados demuestran que entre los genotipos existe amplia variabilidad para rendimiento y sus componentes. Esta variabilidad genética se atribuye a la selección tradicional de plantas y frutos para semilla que el productor hace ciclo tras ciclo en sus parcelas, lo cual imprime características genéticas específicas a cada material criollo del cual se derivaron las líneas que se emplearon como progenitores femeninos de las cruzas, así como a los di-

ferentes orígenes geográficos de los mismos (Pacheco-Triste *et al.*, 2014; Ramanatha y Hodgkin, 2002). La ausencia de significancia entre los probadores para rendimiento se debió probablemente a su menor variación genética, pues éstos provinieron de materiales comerciales "saladette" cuya base genética es reducida (Álvarez *et al.*, 2009; Grandillo *et al.*, 1999; Miller y Tansley, 1990). Con base en estos resultados es posible seleccionar las mejores líneas nativas, las mejores líneas "saladette" (probadores), y las mejores cruzas para iniciar un programa de mejoramiento genético.

### Comparación de medias

La cruzada LOR111R fue la de mayor rendimiento de fruto, con 3624 g/planta, estadísticamente igual al híbrido testigo 'El Cid' (3452 g/planta) y a ocho cruzas más (Cuadro 2), lo que muestra el alto potencial de rendimiento de las líneas en combinaciones híbridas, especialmente con el probador R. Por otro lado, los cinco materiales genéticos de menor rendimiento (entre 911 y 1096 g/planta) correspondieron a líneas nativas *per se*. Estas diferencias en rendimiento entre líneas y cruzas pueden atribuirse a que en estas últimas se explotan tanto efectos aditivos como de dominancia, mientras que en las líneas solo operan los efectos aditivos (Escoria *et al.*, 2010; Reyes *et al.*, 2004). Por otra parte, la endogamia de las líneas no debería ser un factor que contribuya significativamente a su más bajo rendimiento, ya que la depresión endogámica en especies autógamas es relativamente pequeña en comparación con la que se esperaría en especies alógamas (Charlesworth y Charlesworth, 1987).

Para peso promedio de fruto (Cuadro 2), cinco cruzas experimentales y una línea (LOR82) igualaron al testigo

**Cuadro 1. Cuadros medios de siete variables evaluadas en 55 genotipos de jitomate nativo tipo pimiento, tipo "saladete" y un testigo comercial.**

FV	REP	GENOTIPOS	CRUZAS	LÍNEAS	PROB	GRUPOS	ERROR	CV (%)
PTF	113,064.8 ns	1,455,913.6 **	1,044,473.7 **	312,850.4 **	789,464.8 ns	10,900,271.0 **	97,334.6	15
PPF	46.0 ns	2263.4 **	1338.8 **	5269.8 **	564.2 *	6962.8 **	34.0	4
NTF	29.8 *	776.2 **	739.0 **	248.3 **	1938.6 **	1681.6 **	7.7	6
FF	4.9 **	1.6 **	1.8 **	1.4 **	0.5 ns	0.7 ns	0.2	13
NFR3	1.2 ns	7.9 **	7.8 **	7.2 **	12.2 **	8.0 ns	0.9	11
NRP	0.2 ns	2.2 **	1.3 **	0.9 **	0.5 ns	19.5 **	0.2	5
DF1	5.3 ns	107.5 **	36.1 **	92.1 **	9.5 ns	1180.2 **	5.3	8
GL	2	54	39	9	3	3	108	

\*\*, \* = significativo a  $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.05$ , respectivamente, ns = no significativo, REP = repeticiones, PROB = probadores, CV = coeficiente de variación, PTF = peso total de frutos, PPF = peso promedio de frutos, NTF = número total de frutos, FF = firmeza del fruto, NFR3 = número de flores del tercer racimo, NRP = número de racimos por planta, DF1 = días a floración del primer racimo, GL = grados de libertad.

Cuadro 2. Promedio de las variables medidas en los diez genotipos superiores y los cinco inferiores.

	PTF		PPF		NTF		FF		NFR3		NRP		DF1
LOR111R	3624 a	LOR82	184.8 a	LOR97R	90.7 a	LOR85C	5.30 a	LOR97C	13.4 a	LOR85C	9.4 a	LOR111	43.00 a
CID	3452 ab	LOR91T	175.4 ab	R	88.4 ab	LOR84C	5.20 ab	LOR103R	13.0 ab	LOR97R	9.3 ab	LOR103	41.20 ab
LOR82R	3200 ac	LOR85T	173.9 ac	LOR95R	79.3 bc	LOR91T	5.03 ac	LOR97R	12.2 ac	CID	9.1 ac	LOR79	39.17 ac
LOR91R	3112 ad	LOR82T	172.6 ad	LOR103R	74.6 cd	LOR85T	4.93 ac	LOR97	12.1 ac	LOR111R	8.7 ad	LOR82	39.00 ac
LOR97R	3093 ae	CID	169.6 ae	LOR111R	69.7 de	LOR81R	4.50 ad	R	12.0 ad	LOR79R	8.7 ad	LOR91	38.83 ac
LOR85R	3091 ae	LOR111T	169.0 ae	LOR91R	67.9 de	LOR91R	4.30 ae	LOR81C	11.3 ae	LOR91R	8.6 ad	LOR85	38.80 ac
LOR82C	3067 ae	LOR82C	167.6 ae	LOR81R	65.1 ef	LOR95R	4.23 af	LOR91R	11.1 af	LOR103R	8.6 ad	LOR95	38.50 ac
LOR103R	3007 af	LOR111C	164.5 bf	CID	64.8 ef	T	4.23 af	LOR84R	10.8 ag	R	8.6 ad	LOR84	36.17 ad
LOR95R	2924 ag	LOR84L	163.5 bg	LOR85R	63.3 eg	LOR95T	4.20 af	LOR111C	10.7 ah	LOR84R	8.6 ad	LOR81	36.00 ae
LOR84R	2813 ah	LOR81C	163.2 bg	LOR82R	62.7 eg	LOR84	4.10 ag	LOR79	10.4 ai	LOR82R	8.6 ae	LOR111C	34.03 bf
LOR91	1096 pr	LOR97R	102.8 x	LOR103L	30.5 pt	LOR84R	2.63 gj	LOR82C	7.3 ik	LOR91	6.2 kn	LOR84C	20.27 ik
LOR95	1094 pr	LOR97T	79.0 y	LOR79	27.0 qt	LOR111R	2.43 hj	LOR79T	7.1 jk	LOR95	6.2 ln	LOR97R	20.20 ik
LOR111	1069 pr	LOR97	76.0 yz	LOR82L	25.6 rt	LOR82	2.37 ij	LOR85L	7.1 jk	LOR103	6.2 ln	LOR97T	19.77 ik
LOR97T	1009 qr	LOR81	60.8 yz	LOR103	25.3 st	LOR97	2.33 ij	LOR79	7.1 jk	LOR79	6.0 mn	LOR84L	19.67 jk
LOR79	911 r	LOR95	56.9 z	LOR82	21.9 t	LOR97C	1.67 j	LOR82	6.6 k	LOR82	6.0 n	CID	15.00 k
DMS	1060		19.8		9.4		1.49		3.3		1.5		7.80
CV (%)	15		4		6		13		11		6		8

Genotipos con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PTF = peso total de frutos (g), PPF = peso promedio de fruto (g), NTF = número total de frutos, FF = firmeza del fruto, NFR3 = número de flores del tercer racimo, NRP = número de racimos planta, DF1 = días a floración del primer racimo, DMS = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación.

El Cid (169.6 g/fruto). El tamaño grande de fruto de la línea LOR82 *per se* más el hecho de que sus cruzas con los probadores T y C se ubiquen en el grupo estadísticamente superior, indica que esta línea es una fuente potencial de esta característica. Este desempeño sobresaliente de la línea LOR82 se debe a que proviene de una colecta de frutos de tamaño grande; sin embargo, produce pocos frutos por planta, así como un bajo número de flores por racimo y de racimos por planta, por lo que su rendimiento en general es bajo. Respecto a las cinco cruzas que igualaron al testigo, este resultado se debió probablemente a los efectos de heterosis al combinar germoplasma nativo con germoplasma del tipo "saladette" (Hochholdinger y Hoecker, 2007; Lippman y Zamir, 2006).

La cruza LOR97R superó al híbrido testigo El Cid en número de frutos (91 vs. 65 frutos/planta). Dentro de los mejores materiales genéticos para esta variable están 8 cruzas (80 %) en las que intervino el probador R que ocupó la segunda posición entre los de mayor número de frutos, lo que indica que combina muy bien con el germoplasma nativo para componentes del rendimiento tales como número total de frutos, peso total de frutos, número de flores por racimo y número de racimos por planta.

La firmeza de fruto osciló entre 1.67 y 5.30 N, donde las cruzas predominaron en el grupo superior. Estos valores de firmeza son superiores al promedio del híbrido Caimán (1.59 N) producido en hidroponía por San Martín *et al.* (2012), quienes apuntaron que la firmeza mínima de los frutos comerciales de tomate es 1.45 N. Por su parte, Hernández-Leal *et al.* (2013), al estudiar el comportamiento de poblaciones F2 de híbridos comerciales de jitomate tipo "saladette", encontraron valores de firmeza de 1.3 a 2.4 N. Con base en lo anterior, se concluye que algunos de los materiales genéticos de este trabajo tienen una excelente calidad en términos de rendimiento y firmeza, como las cruzas LOR91R y LOR95R que tuvieron rendimientos estadísticamente iguales al testigo y valores de firmeza superiores a 4 N. Para firmeza El Cid tuvo un valor de 3.6 N, por lo que no estuvo entre los 10 mejores genotipos (Cuadro 2) para esta variable, y que todos corresponden a cruzas.

En cuanto al número de flores del tercer racimo, los diez mejores genotipos fueron estadísticamente iguales entre sí, y en ellos predominan las cruzas y únicamente dos líneas *per se*, con un intervalo de 10 a 13 flores por racimo (Cuadro 2). La cruza LOR97C presentó numéricamente el valor más alto (13 flores por racimo), mientras que la línea de jitomate nativo LOR82 fue el más bajo (6 flores/racimo). El híbrido testigo El Cid tuvo un valor de 9.0 flores por racimo y fue superado por la cruza LOR97C. El número de racimos por planta varió de 6.0 a 9.4, y los valores más altos fueron para las cruzas LOR85C y LOR97R, ambas superio-

res al testigo El Cid que formó nueve racimos. Estas dos cruzas fueron estadísticamente iguales a las siete cruzas más sobresalientes.

Con respecto a los días a floración del primer racimo, todas las líneas de jitomate nativo fueron tardías (36 a 43 d después del trasplante, ddt), sin diferencias estadísticas entre ellas, mientras que los cinco materiales genéticos más precoces fueron las cruzas y el testigo (menos de 34 ddt) (Cuadro 2). Estos resultados son similares a los encontrados por Juárez-López *et al.* (2012), quienes reportaron la floración del primer racimo en un intervalo de 42 a 46 ddt en líneas de tomate nativo tipo "cherry" provenientes de Guerrero y Puebla; estos autores también mencionaron que los genotipos más precoces a la primera floración se relacionan con los que se cosechan más temprano en el primer racimo, característica deseable en variedades cultivadas. En 49 colectas de jitomate nativo de Oaxaca y crecidas en invernadero, Carrillo-Rodríguez y Chávez-Servia (2010) encontraron que la floración ocurrió de los 17 a los 28 ddt; es decir, fueron más precoces que los materiales aquí evaluados, debido a que se trató de materiales tipo "cherry" y "arriñonados" que se caracterizan por ser en general más precoces.

En este estudio predominaron materiales que resultaron tardíos, de acuerdo con lo indicado por Juárez-López *et al.* (2012). No obstante, se encontraron cuatro cruzas prometedoras en precocidad (LOR84C, LOR97R, LOR97T y LOR84L), las cuales igualaron estadísticamente al testigo El Cid (15 ddt). Es importante señalar que de estas cuatro cruzas la LOR97R igualó estadísticamente al testigo en rendimiento (PTF), lo que la convierte en germoplasma muy prometedor.

### Correlación fenotípica

El rendimiento total expresado como peso total de fruto (PTF) estuvo significativa y positivamente correlacionado (Cuadro 3) con el peso promedio de fruto (0.39\*\*), número total de frutos (0.61\*\*), número de flores del racimo 3 (0.37\*\*), y número de racimos totales (0.66\*\*). La firmeza del fruto no estuvo asociada con el rendimiento, pero sí con días a floración, aunque de manera negativa. Estos resultados indican que el aumento del rendimiento en los materiales evaluados se asoció principalmente con incrementos en NRP, NTF y PPF, y con ligeros decrementos en DF1, variables en las cuales conviene que el mejorador enfoque su atención al efectuar selección genotécnica en este tipo de germoplasma.

### Comportamiento *per se* de líneas y probadores

Aunque ninguna de las líneas y de los probadores *per se*

lograron igualar el rendimiento del híbrido El Cid, con el objeto de interpretar la importancia heterótica de las cruzas entre líneas y probadores es de destacar que hubo líneas como LOR82 y LOR84 para peso promedio de fruto; el probador R para número total de frutos por planta; casi todas las líneas y probadores para número de flores del tercer racimo y firmeza del fruto; y los probadores C, R y T para el número de racimos por planta, que se ubicaron en el mismo grupo estadístico que el testigo El Cid (Cuadro 4). Esta información evidencia el valor genético tanto de las líneas como de los probadores aquí utilizados, ya que nueve de sus combinaciones híbridas igualaron estadísticamente el rendimiento del testigo.

### Heterosis

En las diez cruzas de más alta heterosis con respecto al progenitor medio ( $H_m$ ) se obtuvieron valores altos y positivos en todas las variables, excepto en días a floración del primer racimo (Cuadro 5). Para peso total de fruto, la  $H_m$  media varió de -21.8 a 111.2 %, y 37 de las 40 cruzas tuvieron valores positivos lo cual indica que hubo una interacción deseable entre los genes de las líneas y los probadores para esta variable. Las cruzas LOR111R, LOR81C, LOR79C y LOR84C presentaron los valores más altos de  $H_m$ , entre 90.3 y 111.2 %.

El mayor rendimiento (3624.5 g/planta; Cuadro 2), y la mayor  $H_m$  (111.2 %; Cuadro 5) los presentaron el híbrido LOR111R y cinco híbridos que se ubicaron en el grupo superior del PTF (LOR111R, LOR91R, LOR97R, LOR103R y LOR82C), éstos se ubicaron en el grupo superior de heterosis, probablemente debido a una alta divergencia genética entre las fuentes de germoplasma y a una interacción alta y positiva entre los alelos para rendimiento y sus componentes, especialmente con el probador R. Al respecto, Romero *et al.* (2002) y Birchler *et al.* (2010) señalaron que la heterosis es un indicador de la divergencia genética, aun-

que la ausencia de heterosis no necesariamente es una falta de tal divergencia.

La  $H_m$  para las demás variables presentó valores inferiores a la de PTF; *i. e.*, para peso promedio de fruto osciló de -13.3 a 80.7 %, y para número de frutos por planta varió de 12.4 a 58.8 %. Las variables PPF y NTF son dos componentes importantes del rendimiento total por planta, que generalmente están correlacionadas negativamente (De Souza *et al.*, 2012; Monamodi *et al.*, 2013). En este contexto destaca que siete cruzas que se ubican en el grupo superior de heterosis para PTF (LOR82C, LOR81C, LOR97C, LOR103C, LOR103R, LOR84C, LOR97R), también se ubicaron en el grupo superior de heterosis para NTF, pero ninguna estuvo en el grupo de alta heterosis para PPF, excepto LOR81C. Despues del rendimiento por planta el peso promedio de fruto fue el que presentó la mayor heterosis, lo cual coincide con lo reportado por Singh *et al.* (2012) quienes encontraron que para esta variable la heterosis fluctuó de -57 a 103 % en 21 cruzas evaluadas.

En número de flores por racimo la heterosis fluctuó entre -21.1 y 31.3 %; los valores más altos fueron los obtenidos en las cruzas donde intervinieron los probadores C, R y T. Hannan *et al.* (2007) encontraron que el valor de heterosis para flores del tercer racimo varió de -25.9 a 37.9 % en cruzas de tomate de origen diverso. Para número de racimos por planta los valores oscilaron de -8.8 a 27.9 %, y los valores más altos ocurrieron en las cruzas LOR85C, LOR79R, LOR82R y LOR111R, en las cuales participó como probador la línea R. Para días a floración del primer racimo la heterosis varió de -36.1 a 9.8 %, donde únicamente los dos primeros valores del Cuadro 5 resultaron positivos, y los restantes 38 valores fueron negativos; esto indica, que en general los híbridos fueron más tempranos en floración que sus progenitores, especialmente en comparación con las líneas hembra que fueron las más tardías.

**Cuadro 3. Correlaciones fenotípicas de siete variables agronómicas de 55 genotipos de jitomate evaluados en invernadero.**

	PPF	NTF	FF	NFR3	NRP	DF1
PTF	0.39 **	0.61 **	-0.03 ns	0.37 **	0.66 **	-0.42 **
PPF		-0.14 ns	0.11 ns	-0.17 *	0.11 ns	-0.03 ns
NTF			-0.01 ns	0.69 **	0.61 **	-0.35 **
FF				-0.16 *	0.06 ns	0.04 ns
NFR3					0.49 **	-0.27 **
NRP						-0.69 **

\*\* = altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ), \* = significativo ( $P \leq 0.05$ ), ns = no significativo; PTF = peso total de frutos, PPF = peso promedio de frutos, NTF = número total de frutos, FF = firmeza del fruto, NFR3 = número de flores del tercer racimo, NRP = número de racimos por planta, DF1 = días a floración del primer racimo.

Cuadro 4. Comparación de medias de 10 líneas y 4 probadores *per se*, así como del híbrido El Cid (testigo).

Genotipo	PTF	PPF	NTF	FF	NFR3	NRP	DF1
LOR85	1245.0 mr	131.2 ms	33.7 ns	3.8 bi	7.5 hk	6.4 in	38.8 ac
LOR91	1096.1 pr	131.5 ms	34.0 ns	4.0 ag	9.1 ck	6.2 kn	38.8 ac
LOR95	1094.2 pr	56.9 z	35.5 mq	3.9 ah	8.2 fk	6.2 ln	38.5 ac
LOR103	1136.5 or	126.0 pv	25.3 st	2.7 gj	7.8 fk	6.2 ln	41.2 ab
LOR81	1116.6 or	60.8 yz	35.4 mq	2.8 ej	7.9 fk	6.7 hn	36.0 ae
LOR79	911.1 r	106.3 vx	27.0 qt	3.7 ci	7.1 jk	6.0 mn	39.2 ac
LOR82	2096.7 dp	184.8 a	22.0 t	2.4 ji	6.6 k	6.0 n	39.0 ac
LOR111	1068.7 qr	138.8 is	39.3 kp	3.6 ci	7.5 hk	6.3 jn	43.0 a
LOR84	1224.8 mr	157.9 bi	33.4 ns	4.1 ag	7.7 gk	7.0 fn	36.2 ad
LOR97	1172.7 nr	76.0 yz	55.0 gi	2.3 ji	12.1 ac	7.8 ci	22.7 hk
L	2197.5 dn	130.4 ms	33.3 ns	3.6 ci	8.1 ek	7.7 dk	25.4 gj
C	1391.9 lr	134.9 ks	39.9 jo	4.0 ag	9.8 bk	8.3 ag	26.1 gj
R	2363.1 cl	127.1 ou	88.4 ab	3.4 di	12.0 ad	8.6 ad	27.5 fj
T	1407.4 lr	104.2 wx	40.9 jo	4.2 af	7.5 hk	8.1 ah	23.2 hj
CID	3452.2 ab	169.6 ae	64.8 ef	3.7 ci	9.9 bk	9.1 ac	15.0 k
DMS	1060.4	19.8	9.4	1.5	3.3	1.5	7.8
CV (%)	15	4	6	13	11	6	8

Genotipos con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). DMS = diferencia mínima significativa, CV = coeficiente de variación, PTF = peso total de frutos, PPF = peso promedio de fruto (g), NTF = número total de frutos, FF = firmeza del fruto, NFR3 = número de flores del tercer racimo, NRP = número de racimos planta, DF1 = días a floración del primer racimo.

Este resultado se considera bueno para el mejoramiento genético del jitomate, ya que lo que se busca son valores grandes y positivos de heterosis en rendimiento y bajos y negativos en días a floración, con lo cual se producirán cosechas más tempranas de buen rendimiento. Estos resultados coinciden con los de Hannan *et al.* (2007) quienes al evaluar 45 cruzas y sus 10 progenitores encontraron que las cruzas fueron más precoces, con heterosis negativa para floración que en la mayoría de ellas varió de -31.4 a 4.4 %.

De manera general se aprecia que los niveles de heterosis de las 40 cruzas variaron dependiendo de la variable en estudio; así, de las siete variables estudiadas las que presentaron mayor heterosis fueron: rendimiento medido como peso total de fruto (111 %), PPF (80 %) y NTF (58 %). Los niveles más bajos de heterosis se observaron en las variables firmeza de fruto con -47.9 % y en días a floración con -36.1 %.

Estos resultados están en concordancia con los obtenidos por Ahmad *et al.* (2011) quienes al evaluar la heterosis para rendimiento y sus componentes, encontraron que el

número de frutos y rendimiento por planta fueron los que presentaron la máxima heterosis con 84 y 62 %, respectivamente. Esta misma tendencia se observó para el caso de la heterosis superior, aunque con valores máximos menores a los de la heterosis media. Esto es ventajoso porque se pueden identificar cruzas superiores en desempeño a los mejores progenitores, que es uno de los objetivos primordiales en el mejoramiento genético del tomate comercial.

Para peso total de fruto las mejores cruzas involucraron a las líneas nativas mexicanas LOR111, LOR81, LOR 79, LOR84, LOR 103 y a los probadores R y C. Los resultados anteriores pueden atribuirse a la alta divergencia genética entre las líneas parentales, así como a su proceso de selección, pues se combinó germoplasma nativo mexicano con germoplasma elite comercial de tipo "saladette" (Birchler *et al.*, 2010). Esto confirma que los materiales genéticos aquí estudiados son adecuados para formar híbridos con alto potencial de rendimiento y con buena firmeza de fruto, o derivar de ellos y de sus cruzas a líneas más avanzadas que al cruzarse tengan una combinación entre ellas aún mejor.

**Cuadro 5. Heterosis con respecto al progenitor medio *Hm* y al mejor progenitor *Hs* (entre paréntesis) de las diez cruzas de más alta y las cinco de más baja heterosis media para cada variable.**

	PTF		PPF		NTF		FF	
LOR111R	111.2	(53.4)	LOR95T	80.7	(39.6)	LOR82C	58.8	(23.1)
LOR81C	104.3	(84.1)	LOR81C	66.8	(21.0)	LOR81C	46.9	(38.7)
LOR79C	94.4	(60.8)	LOR81T	57.1	(24.4)	LOR79C	30.5	(9.4)
LOR84C	90.3	(78.9)	LOR81L	54.0	(12.9)	LOR103C	30.0	(6.2)
LOR103C	84.6	(67.7)	LOR95L	52.8	(9.7)	LOR103R	31.3	(-15.6)
LOR91C	82.2	(62.8)	LOR91T	48.8	(33.4)	LOR95R	28.0	(-10.3)
LOR91R	80.0	(31.7)	LOR85T	47.8	(32.6)	LOR84C	27.0	(16.6)
LOR82C	75.8	(46.3)	LOR95R	41.1	(2.1)	LOR97R	26.5	(2.6)
LOR97R	75.0	(30.9)	LOR111T	39.1	(21.8)	LOR97C	16.0	(0.0)
LOR103R	71.8	(27.2)	LOR81R	36.2	(0.7)	LOR95L	13.8	(10.2)
LOR103T	7.6	(-2.8)	LOR91R	-1.7	(-3.3)	LOR91T	-6.7	(-14.6)
LOR97L	4.8	(-19.7)	LOR103L	-6.7	(-8.2)	LOR84T	-8.6	(17.0)
LOR82T	-2.7	(-18.7)	LOR82L	-10.5	(-23.6)	LOR91C	-9.0	(-15.7)
LOR82L	-5.0	(-7.1)	LOR97T	-12.3	(-24.2)	LOR97L	-10.7	(-28.4)
LOR97T	-21.8	(-28.3)	LOR84R	-13.3	(-21.8)	LOR111C	-12.4	(-13.0)
	NFR3		NRP		DF1			
LOR103R	31.3	(8.3)	LOR85C	27.9	(13.1)	LOR97L	9.8	(3.9)
LOR81C	27.7	(14.9)	LOR79R	19.4	(1.6)	LOR95T	5.7	(-15.3)
LOR111C	22.9	(8.3)	LOR82R	17.1	(-0.6)	LOR103L	-1.5	(-20.4)
LOR97C	21.9	(10.3)	LOR111R	17.0	(1.6)	LOR85T	-2.6	(-22.2)
LOR111T	13.8	(13.8)	LOR82C	16.2	(0.0)	LOR97C	-7.4	(-13.4)
LOR79C	12.5	(-3.4)	LOR103R	16.2	(0.0)	LOR103T	-8.7	(-28.6)
LOR85T	11.4	(11.1)	LOR91R	16.0	(0.0)	LOR111T	-11.8	(-32.1)
LOR82T	10.6	(4.0)	LOR91L	15.1	(4.3)	LOR95R	-12.7	(-25.2)
LOR84R	9.8	(-10.0)	LOR81L	14.8	(7.8)	LOR81L	-13.4	(-26.1)
LOR79R	9.2	(-13.3)	LOR111L	13.3	(3.5)	LOR81R	-13.7	(23.9)
LOR82R	-9.0	(-29.4)	LOR91T	-3.5	(-14.8)	LOR95L	-23.0	(-37.0)
LOR82C	-11.0	(-25.6)	LOR97T	-4.8	(-6.8)	LOR79C	-26.8	(-39.1)
LOR91L	-11.5	(-16.2)	LOR85T	-5.5	(-15.6)	LOR85L	-30.2	(-42.3)
LOR95C	-12.3	(-19.5)	LOR84T	-5.7	(-12.3)	LOR84C	-34.9	(-44.0)
LOR97L	-21.1	(-34.1)	LOR81T	-8.8	(-16.7)	LOR84L	-36.1	(-45.6)

PTF = peso total de frutos, PPF = peso promedio de frutos, NTF = número total de frutos, FF = firmeza del fruto, NFR3 = número de flores del tercer racimo, NRP = número de racimos por planta, DF1 = días a floración del primer racimo. Heterosis media (valores sin paréntesis), heterosis superior (valores entre paréntesis).

## CONCLUSIONES

Las cruzas entre líneas derivadas de germoplasma nativo "chino criollo" y tipo "saladette" presentaron un alto potencial de rendimiento, ya que las nueve mejores cruzas igualaron el rendimiento del híbrido testigo El Cid cuando las líneas progenitoras se cruzaron con el probador R. Las cruzas fueron superiores al comportamiento *per se* de las líneas.

Los valores de heterosis media fueron altos y positivos en la mayoría de las variables, con excepción de días a floración que correlacionó negativamente con rendimiento. Los híbridos F1 fueron más precoces que las líneas parentales. Los valores de heterosis variaron según la variable en estudio; la mayor heterosis se obtuvo en peso total de fruto, y la menor se presentó en firmeza de fruto y días a floración.

Para peso total de fruto las mejores cruzas fueron las que involucraron a las líneas nativas mexicanas LOR111, LOR81, LOR79, LOR84 y LOR103, y a los probadores R y C, por lo que estas líneas pueden usarse para el mejoramiento genético de la especie.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahmad S., A. K. M. Quamruzzaman and M. R. Islam (2011) Estimate of heterosis in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 36:521-527.
- Álvarez H. J. C., H. Cortez-Madrigal e I. García-Ruiz (2009) Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (Solanaceae) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica* 28:139-159.
- Birchler J. A., H. Yao, S. Chudalayandi, D. Vaiman and R. A. Veitia (2010) Heterosis. *The Plant Cell* 22:2105-2112.
- Bonilla-Barrientos O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal y A. Hernández-Bautista (2014) Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:129-139.
- Carrillo-Rodríguez J. y J. L. Chávez-Servia (2010) Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:1-6.
- Charlesworth D. and B. Charlesworth (1987) Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18:237-268.
- Chávez-Servia J. L., J. C. Carrillo-Rodríguez, A. M. Vera-Guzmán, E. Rodríguez-Guzmán y R. Lobato-Ortiz (2011) Utilización Actual y Potencial del Jitomate Silvestre Mexicano. Ed. Subsistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, CLIDIR-Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional e Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, México. 72 p.
- Crisanto-Juárez A. U., A. M. Vera-Guzmán, J. L. Chávez-Servia y J. C. Carrillo-Rodríguez (2010) Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:7-13.
- De Souza L. M., P. C. T. Melo, R. R. Lunders and A. M. T. Melo (2012) Correlations between yield and fruit quality characteristics of fresh market tomatoes. *Horticultura Brasileira* 30:627-631.
- Escoria G. N., J. Molina G., F. Castillo G. y J. Mejía C (2010) Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruzas simples de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:271-279.
- Estrada-Trejo V., R. Lobato-Ortiz, G. García-de los Santos, G. Carrillo-Castañeda, G. F. Castillo, M. E. Contreras, O. J. Ayala-Garay, M. De la O Olan y M. A. Artola (2014) Diversidad de poblaciones nativas de jitomate para germinación en condiciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5:1067-1079.
- Grandillo S., D. Zamir and S. D. Tanksley (1999) Genetic improvement of processing tomatoes: A 20 years perspective. *Euphytica* 110:85-97.
- Hannan M. M., M. B. AHmed, M. A. Razvy, R. Karim, M. Khatun, A. Haydar, M. Hossain and U. K. Roy (2007) Heterosis and Correlation of yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *American-Eurasian Journal of Scientific Research* 2:146-150.
- Hernández-Bautista A., R. Lobato-Ortiz, S. Cruz-Izquierdo, J. J. García-Zavala y J. L. Chávez-Servia (2014) Variación fenotípica, heterosis y heredabilidad de una crusa interespecífica de jitomate. *Interciencia* 39:327-332.
- Hernández-Leal E., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, D. Reyes-López, A. Méndez-López, O. Bonilla-Barrientos y A. Hernández-Bautista (2013) Comportamiento agronómico de poblaciones  $F_2$  de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:209-215.
- Hochholdinger F. and N. Hoecker (2007) Towards the molecular basis of heterosis. *TRENDS in Plant Science* 12:427-432.
- Juárez-López P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, M. Sandoval-Villa, P. Ramírez-Vallejo, D. W. Reed, L. Cisneros-Zevallos y S. King (2012) Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18:207-216.
- Lippman Z. B. and D. Zamir (2006) Heterosis: revisiting the magic. *TRENDS in Genetics* 23:60-65.
- Lobato-Ortiz R., E. Rodríguez-Guzmán, J. C. Carrillo-Rodríguez, J. L. Chávez-Servia, P. Sánchez-Peña y A. Aguirre-Meléndez (2012) Exploración, Colecta y Conservación de Recursos Genéticos de Jitomate: Avances en la Red de Jitomate. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, y Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 54 p.
- Miller J. C. and S. D. Tanksley (1990) RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics* 80:437-448.
- Monamodi E. L., D. M. Lungu and G. L. Fite (2013) Analysis of fruit yield and its components in determinate tomato (*Lycopersicon lycopersicum*) using correlation and path coefficient. *Botswana Journal of Agriculture and Applied Sciences* 9:29-40.
- Pacheco-Triste I. A., J. L. Chávez-Servia y J. C. Carrillo-Rodríguez (2014) Relación entre variación ecológica-orográfica y variabilidad morfológica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Oaxaca. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1:28-39.
- Ramanatha R. V. and T. Hodking (2002) Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 68:1-19.
- Reyes L. D., J. Molina G., M. Oropeza R. y E. Moreno P. (2004) Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza Tuxpeño. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27:49-56.
- Romero P. J., F. G. Castillo y R. Ortega P. (2002) Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:107-115.
- SAS Institute (2002) User's Guide of SAS (Statistical Analysis System). SAS Institute Inc. Cary, N. C. USA. 550 p.
- Sánchez-Peña P., K. Oyama, J. Nuñez-Farfán, J. Fornoni, S. Hernández-Verdugo, J. Márquez-Guzmán and J. A. Garzón-Tiznado (2006) Sources of resistance of whitefly (*Bemisia* spp.) in wild populations of *Solanum lycopersicum* var. *Cerasiforme* (Dunal) Spooner G J, Anderson et R K Jansen, in Northwestern Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53:711-719.
- San Martín H. C., V. M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, M. T. Beryl Colinas y L. Borges-Gómez (2012) Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum*

- L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia* 46:243-254.
- Singh N. B., S. H. Wani, A. Haribhushan and R. Nongthomban (2012)** Heterosis studies for yield and its components in tomato (*S. lycopersicum* L.) under valley conditions of Manipur. *VEGETOS* 25:257-265.
- SIAP, Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (2013)** Cierre de la producción agrícola por cultivo "Modalidad riego + temporal". <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Octubre 2014).
- Steiner A. A. (1984)** The universal nutrient solution. *In: Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress on Soilless Culture*. Wageningen, The Netherlands. pp:633-650.